

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1910

THÈSE

N^o 437

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

PAR

Gaston MAGNON-PUJO

Né à Gevrey-Chambertin le 15 mai 1884

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DE LA

Radiothérapie des Tumeurs Profondes

TECHNIQUE A EMPLOYER

Président : M. GARIEL, professeur

PARIS

IMPRIMERIE DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

JOUVE & C^{ie} Editeurs

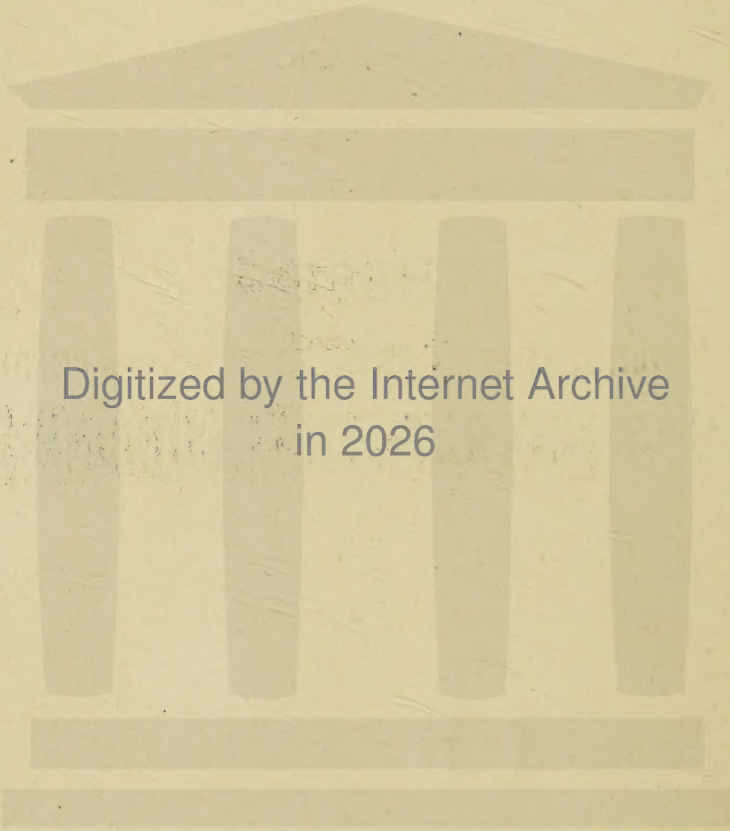
15, Rue Racine, 15

1910



437

THESE
POUR
LE DOCTORAT EN MÉDECINE



Digitized by the Internet Archive
in 2026

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1910

THÈSE

N°

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

PAR

Gaston MAGNON-PUJO

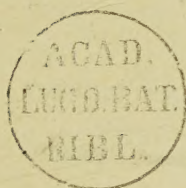
Né à Gevrey-Chambertin le 15 mai 1884

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DE LA

Radiothérapie des Tumeurs Profondes

TECHNIQUE A EMPLOYER



Président : M. GARIEL, professeur

PARIS

IMPRIMERIE DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

JOUVE & C^{ie} Editeurs

15, Rue Racine, 15

1910

Faculté de Médecine de Paris

LE DOYEN	M. LANDOUZY
PROFESSEURS	MM.
Anatomie.	NICOLAS
Physiologie.	CH. RICHET
Physique médicale.	GARIEL
Chimie organique et Chimie générale.	GAUTIER
Parasitologie et Histoire naturelle médicale.	BLANCHARD
Pathologie et Thérapeutique générales.	ACHARD
Pathologie médicale.	WIDAL
Pathologie chirurgicale.	DEJERINE
Anatomie pathologique.	LANNELONGUE
Histologie.	PIERRE MARIE
Opérations et appareils.	PRENANT
Pharmacologie et matière médicale.	HARTMANN
Thérapeutique.	POUCHET
Hygiène.	GILBERT
Médecine légale.	CHANTEMESSE
Histoire de la médecine et de la chirurgie.	THOINOT
Pathologie expérimentale et comparée.	CHAUFFARD
	ROGER
Clinique médicale.	HAYEM
	DIEULAFOY
	DEBOVE
	LANDOUZY
	HUTINEL
Maladies des enfants.	
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale.	GILBERT BALLET
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.	GAUCHER
Clinique des maladies du système nerveux.	RAYMOND
	DELBET
Clinique chirurgicale.	QUENU
	RECLUS
	SEGOND
Clinique ophtalmologique.	DE LAPERSONNE
Clinique des maladies des voies urinaires.	ALBARRAN
	BAR
Clinique d'accouchements.	PINARD
	RIBEMONT-DESSAIGNES
Clinique gynécologique.	POZZI
Clinique chirurgicale infantile.	KIRMISSON
Clinique thérapeutique.	ALBERT ROBIN

Agrégés en exercice

MM.			
AUVRAY	CUNEO	LAUNOIS	NOBECOURT
BALTHAZARD	DEMELIN	LECENE	OMBREDANNE
BRANCA	DESGREZ	LEGREY	POTOCKI
BEZANCON (F.)	DUVAL (P.)	LENORMANT	PROUST
BRINDEAU	GOSSET	LOPPER	RENON
BROCA (A.)	GOUGET	MACAIGNE	RICHAUD
BRUMPT	JEANNIN	MAILLARD	RIEFFEL
CARNOT	JEANSELME	MARION	SICARD
CASTAIGNE	JOUSSET (A.)	MORESTIN	ZIMMERN
CLAUDE	LABBE (M.)	MULON	
COUVELAIRE	LANGLOIS	NICLOUX	

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'École a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A LA MÉMOIRE VÉNÉRÉE
DE MON PÈRE

A MA MÈRE

A MON ONCLE
LE CAPITAINE DE VAISSEAU EN RETRAITE

LÉON PUJO
Commandeur de la Légion d'honneur

A MON ONCLE LE MÉDECIN PRINCIPAL
DE LA MARINE EN RETRAITE

ARMAND PUJO
Chevalier de la Légion d'honneur

A MES PARENTS

A MES AMIS

A MES MAITRES
DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE
ET DE L'HOPITAL GÉNÉRAL DE DIJON

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE
MONSIEUR LE PROFESSEUR GARIEL

AVANT-PROPOS

Au moment de terminer nos études médicales, nous voulons profiter de l'occasion que nous offre cette thèse pour venir remercier les maîtres qui ont dirigé nos travaux et tant contribué à notre instruction.

Nos maîtres de DIJON doivent être cités d'abord, car s'ils furent les premiers en date, ils furent pour nous d'un précieux concours en tout temps et en toute occasion.

M. le D^r DEROYE, directeur de l'Ecole de Médecine, fut aussi notre professeur de clinique médicale ; nous saurons nous souvenir de ses leçons si pratiques et de ses conseils si avisés.

M. le D^r PARIZOT, qui captiva notre attention par son cours magistral de clinique chirurgicale, M. le D^r BROUSOLE, chirurgien de l'hôpital et professeur de pathologie externe, doivent recevoir ici le témoignage de notre gratitude.

Alors que nous étions aide d'anatomie et de physiologie à l'Ecole de Médecine, nous n'avons eu qu'à nous louer d'être sous les ordres de MM. les D^{rs} ZIPFEL, professeur d'anatomie, MICHAUT, profes-

seur de physiologie et GAUT, chef de travaux : qu'ils soient assurés que nous garderons le meilleur souvenir de ces années.

Que MM. les D^r PERRIN, COLETTE, GAUTRELET, BARON, DUBARD, LECLERC reçoivent également l'expression de nos sincères remerciements pour les divers enseignements qu'ils nous ont prodigués.

Enfin parmi le corps médical dijonnais nous n'avons rencontré que des amis dévoués ; c'est un plaisir pour nous de le dire ici.

Nous fûmes, à l'Hôtel-Dieu d'Orléans, interne dans le service de chirurgie de M. le D^r DUFOUR ; il nous a fait largement profiter de son expérience et de sa pratique.

Nos remerciements iront aussi à M. le professeur agrégé POTOCKI, qui a été notre maître pendant le stage d'accouchements que nous avons fait à la Faculté de Paris.

L'idée première de cette thèse revient à M. le D^r GUILLEMINOT, de Paris, qui nous a fait le plus vif plaisir en nous procurant également un certain nombre de renseignements relatifs au sujet.

M. le professeur GARIEL a bien voulu accepter la présidence de cette thèse : qu'il reçoive ici le témoignage de notre respectueuse reconnaissance.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DE LA

Radiothérapie des Tumeurs Profondes

TECHNIQUE A EMPLOYER

INTRODUCTION

Le temps n'est plus où l'on discutait sur le bénéfice que pouvaient retirer de la radiothérapie les lésions cutanées de surface. Toute une catégorie de cancers de la peau appartient maintenant, et cela, d'une façon définitive, à la médecine et non plus à la chirurgie. « Il n'est plus permis de douter, dit WETTERER (1) dans un rapport récent, que la radiothérapie de l'épithélioma cutané superficiel, surtout de l'**ulcus rodeus**, des cancroïdes développés sur la

1. Wetterer. *La Radiothérapie des néoplasmes sous-cutanés*. Rapport au Congrès international de Physiothérapie du 29 mars au 3 avril 1910.

peau séborrhéique, des petits cancers se formant sur ses paupières, les ailes du nez, etc. remplace heureusement et complètement la chirurgie et qu'elle donne même de meilleurs résultats surtout au point de vue esthétique. La statistique offre de beaux chiffres. PÉNARD par exemple a pu constater 70 o/o de guérisons ; BISSÉRIÉ et MÉZERETTE arrivent à 76 o/o. » Wetterer a obtenu 82 o/o de guérisons. Dans le domaine des épithéliomas cutanés, les contre-indications absolues sont rares. La distinction des formes histologiques n'a qu'une valeur relative au point de vue des indications du traitement par les rayons X. Les contre-indications sont tirées du siège, de l'étendue et de la profondeur des lésions. On sait que certains cancers des muqueuses, des lèvres et de la langue en particulier ne sont pas toujours influencés d'une façon aussi favorable qu'on le désirerait et qu'on semblait en droit de l'espérer. Certains néoplasmes très étendus en surface ou en profondeur demandent d'autre part un traitement prolongé et quelquefois, malgré le zèle et la patience des thérapeutes, ce traitement demeure insuffisant.

C'est pourquoi quelques auteurs ont proposé pour gagner du temps un traitement combiné par le grattage et la radiothérapie. Cette façon de faire aurait donné à BELOT et CHAPERON notamment, des résultats inespérés.

Mais puisque nous parlons de contre-indications nous devons à la vérité de dire que, somme toute, l'étendue des lésions ne saurait être une contre-indi-

cation absolue. La radiothérapie est encore une des meilleures méthodes palliatives dont nous disposions quand l'audace des chirurgiens s'est vue dans la nécessité de reculer. L'indolence de la méthode, la perfection des résultats esthétiques sont, du reste, dans les cas les plus ordinaires des arguments qui ont levé toutes les hésitations et nous répétons ce que nous disions il y a un instant : les épithéliomas superficiels appartiennent dorénavant aux radiologistes.

Mais en est-il de même pour les cancers profonds ? Quelques cas heureux ont, il est vrai, été guéris par la seule action des rayons X mais ces cas sont exceptionnels. « Si l'on établissait, dit Wetterer, le calcul statistique des cas de cancer profond traités par la radiothérapie qui ont été connus jusqu'à présent, on arriverait à des chiffres décourageants quant à la guérison réelle, chiffres étant en contraste étrange avec le pourcentage brillant du cancer cutané. »

A quoi cela tient-il ? — A deux causes évidentes à première vue : la première, c'est que toutes les tumeurs n'ont pas la même radiosensibilité ; la seconde, c'est qu'il y a de réelles difficultés techniques à faire pénétrer profondément des rayons de quantité et de qualités données, rayons susceptibles de détruire les cellules néoplasiques sans nuire aux tissus sains. Avant de passer à l'étude de cette seconde cause, qui doit justement faire l'objet de ce travail, disons quelques mots de la première : tous les néoplasmes n'ont pas la même radiosensibilité.

Nous avons déjà dit qu'en matière de cancers superficiels, tous n'étaient pas influencés d'une façon favorable à un égal degré. Les cancers des muqueuses, lèvres, bouche, langue, anus, etc. résistent davantage et plus longtemps que les cancroïdes de la peau à l'action destructrice des rayons de Röntgen. Les différences sont plus marquées encore en ce qui concerne les tumeurs profondes. Parmi ces dernières les cancers du sein traités par la radiothérapie offrent des exemples de succès vraiment remarquables. Les statistiques publiées par un grand nombre d'auteurs et ses statistiques personnelles ont permis à notre maître M. le Dr GUILLEMINOT de dire que dans toutes les formes : tumeurs au début se présentant sous forme d'une nodosité mobile sous la peau, ou tumeur plus avancée avec noyaux cutanés et ganglions de voisinage ; tumeur ulcérée à forme d'ulcus rodeus ou à forme hypertrophique ; squirrhé ulcéré des vieillards ; noyaux cutanés ou sous-dermiques récidivant le long d'une cicatrice d'ablation antérieure : dans tous les cas les succès ne se comptent plus. Mais il s'en faut que toutes les tumeurs profondes soient influencées d'une façon aussi favorable. Les sarcomes, les lymphadénomes et, en un mot, toutes les tumeurs malignes dérivées des éléments du feuillet moyen du blastoderme sont aussi justiciables des rayons X, et BÉCLÈRE admet même que la cellule sarcomateuse est à ce point sensible que l'épreuve radiothérapique permettrait presque à elle seule de faire le diagnostic du

sarcome. Dans certains cas, des sarcomes situés à une certaine profondeur ont disparu avec une rapidité étonnante. Le professeur IMBERT a cité un cas de sarcome du fémur chez un enfant de dix ans dont la guérison persiste encore après trois ans.

Mais ici les résultats sont déjà d'une façon générale beaucoup moins brillants que pour les cancers du sein. On voit des sarcomes dont la constitution histologique est apparemment la même que celle des sarcomes guéris et qui demeurent rebelles à la médication radiothérapique.

On voit de même rétrocéder de grosses tumeurs lymphatiques du médiastin ayant déjà entraîné des symptômes accentués de dyspnée et de cyanose alors que d'autres, malgré un traitement plus précoce, continuent leur marche fatale sans même marquer un temps d'arrêt.

Wetterer dans le rapport que nous avons cité plus haut étudie assez longuement les différentes façons dont se comportent le cancer, le sarcome, le mycosis fongoïde, les tumeurs du tissu lymphatique, etc. vis-à-vis des rayons X.

Son travail très documenté serait à reproduire en entier ; mais nous serions peut-être de ce fait entraînés trop loin de notre sujet. Voici du moins quelques-unes des constatations de cet auteur : nous résumons brièvement .

Le cancer. — Il existe des différences de radiosensibilité très considérables entre les différentes variétés de carcinomes : tandis que certaines espèces

sont facilement influencées, d'autres ne réagissent que faiblement ou ne réagissent pas du tout, au moins ne réagissent pas sensiblement.

Ces différences de radiosensibilité sont explicables par des différences de structure, de consistance, de croissances de ces néoplasmes.

Les carcinomes primitifs des glandes réagissent facilement.

Les cancers des muqueuses ne sont pas défavorables lorsque leur siège est avantageux. Les carcinomes à évolution rapide, de consistance molle, sont relativement favorables. Les cancers formés d'éléments solides, durs, fermes, à marche lente, ne réagissent pas ou très peu. L'auteur croit, d'autre part, que tous les néoplasmes réagissent mieux à leur début que dans les stades plus avancés de leur développement.

Le sarcome. — On peut dire : ou bien un sarcome réagit promptement d'une manière éclatante, ou bien il se montre presque complètement réfractaire,

Tumeurs du tissu lymphatique. — En général toutes les tumeurs de ce genre régressent déjà après avoir absorbé de petites quantités de rayons X surtout à leur début, tandis qu'elles réagissent de moins en moins dans les périodes plus avancées et que finalement elles peuvent se montrer presque entièrement réfractaires. Quelquefois la diminution de volume d'une tumeur splénique ou ganglionnaire se fait avec une rapidité surprenante.

Dans toute cette question il y a sans doute encore

bien des inconnues. Notre maître et ami le D^r MICHAUT nous a dit avoir bien souvent parlé de cette question avec le D^r CHARLES PUJO, notre vénéré père. Le D^r MICHAUT nous a raconté comme quoi bien des hypothèses étaient soulevées dans ces conversations, auxquelles notre jeune âge d'abord, notre éloignement ensuite nous ont empêché de prendre part. Le D^r Charles Pujol, fervent partisan de la théorie parasitaire du cancer, admettait que la cause de la néoplasie n'était pas toujours la même. Il pensait que des infections diverses pouvaient amener cette façon si spéciale de réagir des tissus qu'est le cancer. Peut-être la roentgenisation agit-elle sur certains parasites et sur les néoformations qu'ils ont entraîné, et n'agit-elle pas sur d'autres espèces parasitaires. Mais rien ne nous autorise jusqu'ici à défendre cette hypothèse et, si nous en avons dit un mot en passant c'est qu'il nous était doux de rendre hommage à la mémoire paternelle et de rappeler que la question du cancer était celle qui, durant toute une vie de travail acharné au chevet des malades ou dans une bibliothèque qu'il s'était plu à documenter, avait le plus vivement préoccupé le D^r Charles Pujol.

Au surplus nous devons conclure en ce qui concerne le traitement radiothérapique des tumeurs comme le fait le D^r Guilleminot : « Malgré les insuccès, malgré notre ignorance des causes qui rendent une cellule néoplasique plus ou moins sensible aux rayons X, nous pouvons dire que les nouvelles radia-

tions ont apporté le remède le plus efficace, le plus spécifique que nous connaissons jusqu'ici contre le cancer non soumis à l'intervention chirurgicale et contre les récidives des cancers opérés. »

Et nous ajoutons : Les succès peuvent être variables, mais il est une opinion qui retient encore certains médecins d'envoyer leurs cancéreux à des spécialistes : les rayons X ont passé à certaine époque pour donner de véritables coups de fouets à quelques variétés de tumeurs. De cette opinion il faut faire justice.

Tous les histologistes qui ont étudié l'action de la radiothérapie sur les néoplasmes ont constaté sous le microscope que les rayons de Röntgen avaient une influence retardante, nocive et souvent destructrice sur les cellules de ces néoplasmes. Jamais ils n'ont vu la vie ou la prolifération des cellules augmentées par des irradiations. Quand on voit une tumeur irradiée se développer, on doit donc accuser de ce développement non pas l'agent thérapeutique employé, mais bien la malignité de la tumeur elle-même.

L'opinion qui met sur le compte de la radiothérapie les généralisations ou les métastases qui se produisent après la roëntgenisation est tout aussi insoutenable. En effet les cellules néoplasiques résorbées après les séances de radiothérapie sont des cellules mortes. La nécrobiose précède la résorption, et il est tout à fait impossible que ces cadavres de cellules repris par le torrent circulatoire aillent se greffer au niveau

d'autres organes et y donner naissance à de nouveaux foyers néoplasiques, généralisation, métastases sont des accidents communs dans l'histoire des tumeurs. Les nouvelles méthodes de traitement ne sont peut-être pas toujours capables de les empêcher. Qu'on ne les accuse pas au moins d'être des agents provocateurs.

Un autre point un peu plus délicat et qui a été également imputé à crime à la radiothérapie est le suivant. La nécrobiose des tissus malades sous l'influence des rayons X peut s'accompagner de résorption intense des débris cellulaires et de leurs produits toxiques. Cette résorption peut aller jusqu'à un véritable empoisonnement de l'organisme.

Nous ne croyons pas, là encore, que ce reproche repose sur des fondements sérieux. Sans doute on peut voir et nous avons vu quelquefois après une irradiation trop forte ou trop prolongée d'un néoplasme des malades accuser des phénomènes généraux paraissant relever d'une véritable toxémie. Mais cette toxémie a toujours été légère et, du reste, elle peut être évitée. Elle se produisait surtout autrefois lorsque les spécialistes, encore mal renseignés sur l'action de leur méthode, se trouvaient, d'autre part, dans l'impossibilité de doser exactement les rayons dont ils se servaient. Actuellement on peut et on doit faire mieux. Avec de la prudence, en tâtant pour ainsi dire la susceptibilité de la tumeur et celle du sujet, en employant des séances ni trop longues, ni trop intenses, ni trop rapprochées, on peut se mettre à

coup sûr à l'abri des accidents toxiques dont la gravité nous paraît avoir été tout au moins exagérée.

Nous venons de voir d'une façon très rapide que les rayons X agissaient sur les néoplasmes et que cette action était une action destructive. Nous avons dit que tous les malades ne tiraient pas de ce mode de traitement les mêmes bénéfices parce que les tissus néoplasiques n'étaient pas tous également sensibles aux irradiations, cela pour des raisons encore inconnues, mais que nous connaissons peut-être un jour. Et nous avons ajouté que dans l'état actuel de la science tous les sujets atteints de tumeurs pouvaient être confiés à des spécialistes, quelquefois à l'exclusion des chirurgiens (ceci notamment pour quelques variétés de cancroïdes), mais le plus souvent concurremment avec eux.

Ce que nous avons rapporté nous dispense d'envisager la question de savoir si les rayons X pénètrent suffisamment dans la profondeur pour agir sur les néoplasmes profondément situés. Nous rappelons pourtant que cette pénétration de rayons actifs est indiscutable.

Si on en doutait, il suffirait de se rappeler les résultats que l'on obtient par exemple en irradiant des productions lymphatiques dans l'abdomen ou dans la cage thoracique.

Pour notre part nous avons été à même de constater, en particulier chez deux malades, qu'une seule irradiation modifiait d'une façon complète la formule sanguine au point de vue des leucocytes.

L'un de ces malades était atteint de leucémie myéloïde. En irradiant sa rate on obtenait après chaque séance, dans les premières heures, une augmentation considérable du nombre des polynucléaires dans le sang circulant et, secondairement, une diminution plus marquée encore du nombre des leucocytes et en particulier des myélocytes. Au bout de quelque temps la formule sanguine était presque revenue à la normale.

AUBERTIN et BEAUJARD et, à leur suite, un grand nombre d'auteurs ont, du reste, publié des résultats remarquables obtenus par des irradiations de la rate dans des cas de leucémie myéloïde.

Notre second malade était atteint de lymphosarcome du médiastin. Nous avons pu voir chez lui aussi dans les premières heures qui suivirent une irradiation de la cage thoracique, une augmentation considérable des polynucléaires du sang.

Ce malade, très dyspnéique déjà lorsqu'on commença à le traiter, avait des crises d'oppression paroxystiques qui le rendirent rapidement intransportable. Il mourut à quelque temps de là.

Des faits comme ceux-là auraient levé tous nos doutes si nous en avions eu. Les radiations qui traversent le corps humain et vont impressionner les plaques de radiographie sont susceptibles d'une action modificatrice tout à fait remarquable sur certaines productions pathologiques situées dans la profondeur des tissus.

Malgré tout nous devons avouer que pour les

tumeurs profondes la question est un peu plus complexe que pour les néoformations cutanées superficielles. On se heurte notamment à des difficultés de technique assez embarrassantes et ce sont justement, à notre avis, ces difficultés de technique qui ont empêché la nouvelle méthode de traitement de prendre toute l'extension qu'elle mérite.

C'est à l'étude de ces difficultés et de la technique adoptée par notre maître le D^r GUILLEMINOT que nous consacrons ce travail. Nous aurions voulu diviser notre thèse en deux parties. Nous aurions étudié d'abord la technique employée, puis les résultats obtenus. Des circonstances indépendantes de notre volonté nous obligent à limiter notre sujet. Nous n'étudierons que la technique. Les résultats cliniques obtenus feront l'objet d'un travail ultérieur.

C'est à M. le D^r A. Guilleminot, vice-président de la Société de Radiologie médicale de Paris, que nous devons le sujet de notre thèse. C'est lui qui nous a fourni tous les documents nécessaires à sa rédaction. Nous le prions de croire à notre profonde reconnaissance.

S'il y a quelque chose de bien dans ce travail, c'est l'œuvre du D^r Guilleminot. Nous nous excusons seulement auprès de notre maître et auprès de nos juges, si notre connaissance, encore imparfaite, des choses de la radiologie ne nous a pas permis de présenter un travail tel que l'auraient désiré notre bonne volonté et notre gratitude envers le D^r Guilleminot.

Nous comptons sur l'indulgence de ceux qui nous liront pour nous excuser. Voici maintenant le plan que nous allons suivre :

Dans un **premier chapitre** nous étudierons quelles sortes de rayons il faut employer pour agir sur les tumeurs profondes avec le maximum d'efficacité et le minimum de risques fâcheux pour les tissus sains et notamment pour la peau.

Dans un **second chapitre** nous verrons les conditions techniques pouvant permettre de réaliser ces desiderata : 1° conditions relatives au tube ; 2° conditions relatives à la constance du fonctionnement ; 3° conditions relatives au filtre ; 4° conditions relatives à la protection et à l'appareillage accessoire pour permettre d'aborder la région sous toutes les incidences ; 5° conditions relatives au dosage : α (qualitométrie ; β quantitométrie).

CHAPITRE PREMIER

LES RAYONS QU'IL FAUT EMPLOYER

La radiothérapie à ses débuts a eu quelques déboires. Nous ne voulons pas retracer ici l'histoire des radiodermites. Les accidents dus à l'application inconsidérée des rayons X sont trop présents à l'esprit non seulement des spécialistes, mais aussi de tous les médecins pour qu'il soit utile de nous y appesantir. Ces accidents ont pu faire craindre à certaine époque de voir réduire considérablement les indications de la nouvelle méthode thérapeutique. En ce qui concerne les tumeurs profondes notamment, on s'est dit qu'il fallait pour, *pénétrer*, des irradiations puissantes ou prolongées et que, avec une méthode donnant des ennuis avec des applications de faible intensité, on aurait en faisant, des applications plus intenses, de véritables désastres.

Heureusement la patience des chercheurs et l'analyse soigneuse et exacte de l'action biochimique des rayons de Roentgen ont permis de parer au danger.

Le problème à résoudre est celui-ci : il faut agir

en profondeur sans léser les téguments. Or, on n'a pas tardé à s'apercevoir que le tube de Crookes émettait des rayons de qualités très diverses. Les uns agissent surtout sur les parties superficielles qui les retiennent. Les autres pénètrent dans sa profondeur et, chose curieuse et digne du plus grand intérêt, ce sont justement des rayons pénétrants qui sont les moins nocifs pour la surface cutanée. *Arrêter les premiers à l'aide de filtres appropriés ; conserver les seconds* : telle est donc la solution de la question.

Nous empruntons les lignes qui suivent à une étude de notre maître le D^r Guilleminot. Ces lignes présenteront les choses mieux que nous ne saurions le faire nous-même.

« L'efficacité des radiations nouvelles pour enrayer dans leur évolution certains éléments morbides, en particulier les éléments néoplasiques, et, d'autre part, leur action nocive, à doses plus élevées, sur certaines cellules normales ont eu cette conséquence que tous les efforts des radiothérapeutes ont tendu à faire absorber la dose maxima aux éléments morbides avec une dose minima pour les tissus sains.

» De là les localisateurs, les protecteurs de toutes espèces qui limitent le champ d'action du rayonnement. De là aussi la nécessité de choisir le rayonnement optimum qui, par sa qualité moyenne, par sa composition, permet de faire absorber le maximum aux éléments morbides situés à des profondeurs variées, en réduisant le plus possible les doses nocives pour les tissus interposés.

« Or, si l'on considère un rayonnement simple, disons monochromatique par analogie, on est amené par le raisonnement et par l'expérience, à conclure que plus le rayonnement est pénétrant, plus les doses absorbées par les couches profondes sont considérables par rapport aux doses retenues par les couches superficielles. D'où l'utilité d'employer des faisceaux pénétrants et de se débarrasser autant que possible des mous... »

On devra, autrement dit, dans le traitement des tumeurs profondes, employer autant que possible un faisceau se rapprochant d'un monochromatique, à condition que ce rayon soit pénétrant. Nous verrons ultérieurement comment des filtres radiochroïques, tels que l'aluminium ou le verre peuvent nous permettre d'obtenir ce résultat dans une certaine mesure. Nous disons dans une certaine mesure.

Il ne faudrait pas croire en effet que les choses soient simples. Les rayons mous ne sont pas toujours bien faciles à éliminer.

Guilleminot a montré que chaque faisceau complexe a un spectre à peu près continu depuis sa partie inférieure (faible pénétration) jusqu'à sa partie supérieure (haute pénétration) de sorte qu'un filtre n'élimine pas les rayons mous d'un faisceau donné ; il en amoindrit seulement la dose dans des proportions d'autant plus considérables qu'on descend vers la partie inférieure de ce spectre.

Guilleminot a montré en outre que plus un faisceau est épuré, plus on arrive à l'aide de filtres à le

rapprocher d'un monochromatique et plus aussi la dose absorbée par les tissus profonds est considérable par rapport aux doses absorbées superficiellement.

C'est cette notion qui explique le durcissement d'un faisceau à la traversée de la matière.

Comme l'a fait remarquer M. Laquerrière à la Société d'Electiothérapie et de Radiologie au cours d'une discussion sur la filtration du rayonnement X, le mot durcissement pourrait prêter à confusion si l'on perdait de vue le *modus faciendi* du phénomène qui consiste dans la plus grande absorption des rayons mous; il pourrait faire croire qu'il s'agit d'une transformation de l'énergie radiante, d'une mutation de radiations de plus grande longueur d'onde en radiations de plus courte longueur d'onde, ce qui serait absolument faux. Un faisceau complexe filtré par la matière a perdu une fraction de ses composantes molles d'autant plus élevée qu'on se rapproche de l'extrémité inférieure de son spectre, de sorte que sa qualité moyenne, son coefficient de pénétration moyen se trouve plus élevé à l'émergence.

Les déterminations qualimétriques, faites derrière des épaisseurs de matière croissantes, font voir le durcissement progressif du faisceau, et les chiffres donnés par Guillemainot montrent que le durcissement varie suivant les corps, disons: suivant leur radiochroïsme.

Mais avant d'aller plus loin nous croyons qu'il vaut mieux d'abord donner quelques définitions et montrer rapidement comment on peut arriver à préciser

les données fondamentales qui doivent servir de base à notre étude. La clarté des lignes qui vont suivre gagnera à partir des premiers principes.

Nous supposons connu le fonctionnement du tube de Crookes. Nous ne voulons donc pas étudier les phénomènes de mise en marche ni le mode de production des rayons et nous commençons au moment où ce tube en plein fonctionnement dégage des rayons que nous devons connaître pour savoir nous en servir.

Les rayons cathodiques qui proviennent du passage du courant électrique dans le tube à vide frappent la lame anticathodique et donnent naissance aux rayons X. Mais l'émission de rayons X est complexe et comprend des rayons de qualités différentes. En effet en soumettant le faisceau cathodique à un champ magnétique on observe la dispersion du faisceau (Birkeland). On doit donc conclure que les projectiles qui constituent le faisceau sont animés de vitesse différente.

Les auteurs (J.-J. THOMSON, WIECHERT), qui ont étudié la vitesse des rayons cathodiques origine des rayons X, ont trouvé des chiffres variables : 22.000 à 36.000 kilomètres à la seconde (Thomson) — 22.000 à 50.000 kilomètres à la seconde (Wiechert).

La vitesse des projectiles cathodiques varie avec la différence de potentiel qui existe entre les électrodes du tube à vide où ils se produisent. Elle augmente quand la différence de potentiel augmente, et elle diminue avec elle.

Les rayons X produits sont d'autant plus pénétrants que la vitesse des rayons cathodiques qui leur donne naissance est plus grande et la conclusion est que : dans un tube à vide, plus la différence de potentiel aux électrodes sera considérable, plus les rayons X produits seront pénétrants.

D'autre part, si nous comparons les rayons X aux rayons du spectre lumineux nous pouvons caractériser ces rayons par leur longueur d'onde. Nous savons que pour le spectre les longueurs d'onde sont plus fortes pour le rouge et vont en diminuant jusqu'au violet. Si, comme on l'admet généralement, les rayons X sont une radiation vraie, s'ils sont constitués par la transmission d'une oscillation transversale des particules d'éther, nous pouvons conclure qu'un tube de Crookes donne un faisceau composé de rayons de longueur d'onde différente.

Plus la longueur d'onde sera faible, plus les vibrations seront rapides et plus le rayon sera pénétrant.

Nous devons ajouter que les caractères qui différencient les rayons X des rayons lumineux (propagation en ligne droite, absence de réflexion ou de réfraction au contact d'un corps, absence de phénomène de diffraction ou de polarisation) peuvent s'expliquer par la petitesse de leur longueur d'onde. Les rayons X sont une modalité de l'énergie radiante, mais cette modalité n'est nullement différente de tous les autres rayonnements connus.

Voyons maintenant ce qui se passe lorsque les rayons X traversent ou rencontrent la matière solide,

liquide ou gazeuse. Cette étude est particulièrement importante et touche au vif de notre sujet.

Lorsque les rayons X rencontrent un corps, ce corps absorbe toujours une quantité plus ou moins grande du rayonnement qui le traverse.

Comment peut-on étudier l'absorption des radiations par les corps ? Benoist, à qui revient en grande partie le mérite de cette étude, appelle radiochroïsme de la matière vis-à-vis des rayons X l'inégale absorption de tel ou tel faisceau par telle ou telle substance. Des corps susceptibles de retenir une certaine quantité de rayons et d'en laisser passer une autre seront des *filtres radiochroïques* et l'on peut établir des filtres étalons pour mesurer la transparence d'un corps aux rayons X.

Presque immédiatement après la découverte par Rœntgen des nouvelles radiations, Benoist et Hurmuzescu ont constaté le fait suivant : si l'on place sur le trajet d'un faisceau de rayons X une lame d'aluminium, le faisceau sera amoindri parce que l'aluminium aura arrêté une partie du rayonnement. Une seconde lame d'aluminium placée au-dessous de la première arrête encore une partie du faisceau mais la partie absorbée par la seconde lame sera moindre que celle absorbée par la première, car tous les rayons les moins pénétrants auront été arrêtés par la première. La seconde ne recevant que des rayons de longueur d'onde plus faible, rayons plus pénétrants, les laissera passer en grande partie.

On sait que le radiochroïsme est une propriété

générale de la matière vis-à-vis des rayons lumineux. Tel corps absorbe tous les rayons du spectre solaire sauf les verts, tel autre les absorbe tous sauf les rouges. Ainsi un verre rouge est pour le spectre solaire un filtre radiochromique qui ne laisse passer que les rayons rouges à l'exclusion des autres. Mais l'expérience apprend que, en radiologie, le radiochromisme de la matière est beaucoup plus simple, beaucoup moins fantaisiste que dans la gamme lumineuse. Quelle que soit la substance traversée, le radiochromisme se manifeste toujours par une plus grande absorption des rayons mous, des composantes molles du faisceau, et par une moins grande absorption des rayons durs. Jamais on ne rencontre de filtres transmettant par exemple les composantes moyennes à l'exclusion des supérieures et des inférieures. Pour employer un mot commode dont nous nous sommes déjà servi, il n'y a pas de filtres monochromatiques et le rayonnement monochromatique qui serait l'idéal pour les irradiations des tumeurs ou des organes profonds est impossible à réaliser : la seule chose que nous pouvons faire c'est d'éliminer la plus grande partie des composantes inférieures d'un faisceau, pour le réduire à peu près à ses composantes monochromatiques supérieures.

Mais revenons à l'étude des mesures de transparence des corps à l'égard des rayons X : tous les radiothérapeutes connaissent l'instrument précieux et simple qui est le radiochromomètre de Benoist. Nous ne voulons pas le décrire ici. Il nous suffit de

rappeler que 12 secteurs d'aluminium dont l'épaisseur varie de 1 à 12 millimètres servent à mesurer par comparaison avec une lame d'argent étalon de 0 mm. 11 d'épaisseur la pénétration des rayons. Les rayons nous donnent l'égalité d'ombre pour les secteurs 1, 2, 3, et lorsque la transparence existe pour les secteurs 11 ou 12, les rayons sont très pénétrants.

Cet instrument a permis à Benoist de formuler des lois qui règlent la transparence des corps vis-à-vis des rayons X. Voici parmi les lois de Benoist ce qui nous paraît être le plus important :

Pour un corps donné l'opacité n'est fonction que de la masse et non de l'état solide, liquide ou gazeux.

L'opacité spécifique des corps simples est une fonction déterminée de leur poids atomique pour chaque espèce de rayons X. Plus le poids atomique d'un corps est élevé, plus ce corps est opaque aux rayons X (transparence du carbone, du magnésium, etc. à poids atomiques faibles, opacité du mercure, à poids atomiques lourds).

Et maintenant, bien que nous nous proposons d'étudier la qualitométrie et la quantitométrie des rayons de Rœntgen à propos de la technique, nous croyons qu'il est indispensable d'en parler dès maintenant et de montrer comment Guilleminot a pu arriver à déterminer (chose de la plus haute importance pratique) la quantité de rayons absorbée et la quantité transmise par les couches successives de tissus.

Et d'abord, quelques considérations préliminaires : lorsqu'on soumet certains sels à l'action des rayons X, ces sels subissent un certain nombre de modifications. Ces modifications ont été mises à profit par les auteurs pour le dosage des rayons X.

1° RÉCATION DE FREUND. — PROCÉDÉ DE DOSAGE DE FREUND, DE BORDIER ET GALIMARD, etc. — Sous l'influence des rayons X une solution chloroformique d'iodoforme à 2 o/o (Freund), solution naturellement jaune, devient rouge par suite de la mise en liberté d'une certaine quantité d'iode. Bordier, en ajoutant à la solution de Freund 1 o/o d'une solution alcoolique de potasse au 1/3, empêche la décomposition dans l'obscurité qui se produisait avec la solution chloroformique pure. De sorte que, cette précaution étant prise, la mesure de la quantité d'iode libérée peut servir de mesure à la quantité de rayons X absorbée (Bordier et Galimard) ;

2° ACTION SUR LES SELS DE GOLDSTEIN. — Des solutions de chlorure de sodium, de sulfate de soude et de divers autres sels se colorent sous l'action des rayons X. HOLTZKNECHT a tiré de là un procédé de dosage assez connu ;

3° ACTION SUR UNE SOLUTION D'OXALATE D'AMMONIUM ET DE SUBLIMÉ. — La précipitation de calomel produite par l'exposition de cette solution à l'action des rayons X a été utilisée par SCHWARTZ de Vienne ;

4° ACTION DE VIRAGE SUR LES SUBSTANCES FLUORESCENTES. — Certaines substances fluorescentes quand elles ont été irradiées pendant plus ou moins

longtemps changent de teinte d'une façon très nette.

Le platinocyanure de baryum qui dans ces condi-

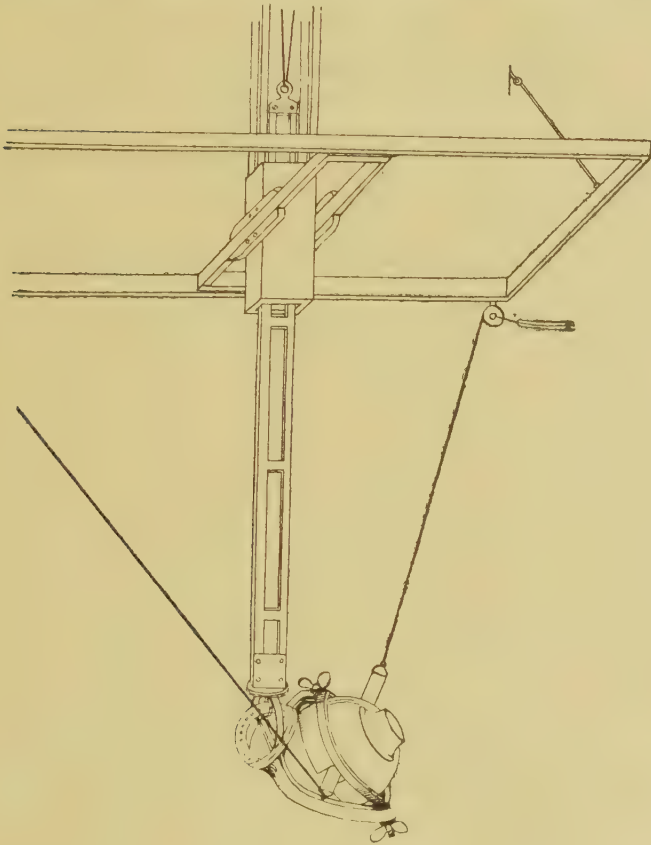


FIG. 1

Support de tube de Guilleminot avec protecteur permettant les orientations en tout sens (L'appareil est disposé pour une irradiation de l'aisselle).

tions passe d'une teinte jaune verdâtre à une teinte brune a servi à établir le **RADIOMÈTRE DE SABOURAU ET NOIRÉ** et celui de **Bordier**.

Il est encore d'autres phénomènes, tels que l'ac-

tion des rayons X sur les substances photographiques et l'ionisation produite par ces rayons dans les gaz, qui seraient intéressantes à être rappelées, mais ces phénomènes, s'ils ont pu servir à doser les rayons, nécessitent des manipulations assez délicates et ne sont pas entrés dans la pratique courante.

Nous voici donc, avec le radiochromomètre de Benoist d'une part, avec les réactions physico-chimiques dont nous venons de parler d'autre part, armés pour apprécier et doser la qualité et la quantité des rayons X ; mais nos armes sont bien imparfaites. La solution chloroformique d'iode, le platino-cyanure de baryum sont en effet des procédés de mesure qui laissent encore la part assez large à l'erreur.

De plus, une chose dont tous les auteurs se sont rendu compte, c'est la nécessité d'avoir une unité de mesure qui serve à tous les radiologistes à apprécier et à faire connaître leurs résultats. Or, comme le fait justement remarquer Guillemainot, nous sommes aujourd'hui dans une situation pire, quand nous employons les rayons X, qu'on ne l'était au milieu du XIX^e siècle quand on employait les courants électriques. Non seulement nous n'avons pas un système unifié d'unités du rayonnement, mais nous n'avons pas d'unité du tout, au sens physique du mot. La plupart de nos mesures sont spéciales à telle ou telle installation électrique, le mode de dosage est propre à tel ou tel auteur.

Un exemple : l'unité la plus répandue, celle dont

se servent dans leurs publications, le plus grand nombre des spécialistes, est l'unité **H** de *Holtz-knecht*. Elle n'a d'autre définition que celle-ci : « C'est le tiers de la dose compatible avec l'intégrité des téguments ». Sa représentation chimique est donnée par le degré de virage d'un sel dont la composition a été tenue secrète par l'auteur. « L'unité

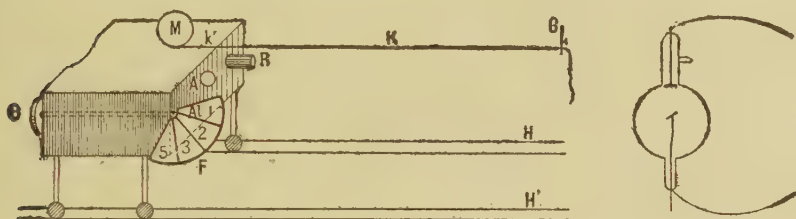


FIG. 2

Cliché Steinheil

Fluoromètre pour la quantitométrie et la qualitométrie.

H, dit Guilleminot, est l'unité fantôme dont tout le monde parle et que personne ne connaît; et c'est avec cette unité que sont dressées nos tables de posologie. »

Quelques auteurs ont essayé de donner à la radiologie une unité nettement définie : Bordier et Galimard ont recours pour cela à la réaction de Fréund que nous avons signalée, et leur unité de quantité est : la quantité de rayons X qui agissant sur une solution chloroformique d'iodoforme à 2 o/o, suivant l'incidence normale, sur une épaisseur de 1 centimètre et sur une surface de 1 centimètre carré, est capable de libérer 0 mg. 1 d'iode.

C'est là une définition chimique rigoureuse; l'unité I de Bordier est la première unité rationnelle qui

ait été proposée. Si son emploi ne s'est pas généralisé, c'est que le réactif proposé pour les applications cliniques par Bordier et Galimard, est précisément ce réactif dépourvu de toutes précisions et déjà employé par Sabouraud et Noiré : le réactif au platinocyanure de Baryum qui vire au brun quand il est irradié.

« Tous les procédés employés jusqu'ici ont d'ailleurs donné lieu à un abus de langage, sinon à une erreur d'interprétation. Quand on lit, par exemple, qu'il faut faire absorber 5 H à la peau pour obtenir de l'érythème, on veut dire qu'il faut soumettre la peau à un rayonnement tel, qu'il produit dans le réactif employé un virage correspondant à la teinte étiquetée 5 H. C'est le rayonnement absorbé par le réactif, et non par la peau qui fait l'objet du dosage. Substituez à la peau une surface osseuse dénudée, vous direz encore que, dans les mêmes conditions, l'os a absorbé 5 H, alors que, tout le monde sait que le pouvoir absorbant de l'os est bien supérieur à celui des téguments ! Il est vrai que l'on peut, de la notion de la quantité absorbée par le réactif, passer à celle de la quantité totale disponible du faisceau incident. Mais cette notion ne sera pas encore suffisante pour juger de la quantité vraiment absorbée par les tissus : il faudra définir ce que l'unité d'épaisseur de chaque tissu retient de cette quantité incidente pour chaque qualité de rayonnement. Or, cette définition, la radiométrie actuelle, avec ses réactifs lents et imprécis, ses unités mal définies et variables ne permet pas de

la réaliser. Ce n'est donc pas exagérer que de dire que la radiométrie des rayons X, dans les sciences biologiques, n'existe pas, puisqu'elle n'a permis, pratiquement, d'arriver qu'à des notions vagues ou erronées sur l'absorption des rayons X par la matière.

Quantitométrie fluoroscopique (Procédé de Guilleminot)

L'idée de se servir de la fluorescence d'un écran, comme procédé de mesure de l'intensité de la source qui l'illumine, est déjà ancienne et appartient un peu à tout le monde. Bordier et Nogier ont imaginé un actinomètre pour l'ultra-violet, basé sur ce principe. Contremoulins a essayé de déterminer l'intensité d'un champ de rayons X en comparant la luminosité d'une plage de platinocyanure de baryum, irradiée par eux, à celle d'une plage voisine éclairée par une source de lumière (acétylène). Courtade et Guilleminot ont, chacun de leur côté, en 1905, employé le radium pour irradier la plage de comparaison. Mais la faiblesse de l'étalon de radium qu'ils avaient employé, rendait les mesures difficiles, surtout aux heures du jour où la lumière trop vive aurait demandé un temps d'accommodation peu compatible avec les exigences de la pratique, et le procédé ne donna vraiment ce qu'il était capable de rendre, que quand on eût adopté un étalon plus fort, tel qu'en possèdent, d'ailleurs, actuellement tous les laboratoires et la plupart des médecins qui s'occupent de

radiothérapie. Aujourd'hui, la robustesse de l'appareillage qui ne demande aucun soin minutieux, la rapidité et la commodité des mesures, la précision des indications me paraissent devoir faire préférer la quantitométrie fluoroscopique à tous les autres systèmes de mesures.

A. — Description de l'appareil. — Au fond d'une boîte à vision binoculaire est une paroi de plomb dont une partie carrée de 6×6 centimètres environ, forme volet et peut s'ouvrir et se fermer à volonté. Quand le volet est ouvert le fond de la boîte présente donc, une petite ouverture carrée de 6×6 centimètres. Cette ouverture est fermée par une lame de verre au plomb. Quand le volet est fermé, le fond de la boîte se présente comme une paroi de plomb ininterrompue.

Entre le volet et la vitre de verre au plomb, prend place un petit écran de platinocyanure de baryum. Ce volet est percé de deux orifices de 1 centim. $1/2$ de diamètre environ. L'un d'eux est muni d'une bague taraudée intérieurement et dans laquelle vient prendre place le cylindre à radium. L'autre est ouvert et est destiné à laisser passer les rayons X.

B. — Emploi de l'appareil. — Quand on met le fluoromètre devant les yeux on voit, au fond, un disque luminescent. C'est la plage irradiée par le radium. Quand on vise un tube à rayons X en fonctionnement, on voit apparaître un second disque luminescent correspondant à l'orifice libre. Il est facile de s'habituer à viser le tube directement,

c'est-à-dire à faire tomber normalement les rayons sur l'écran.

La luminosité de la plage irradiée par les rayons X peut être supérieure, égale ou inférieure à la plage-radium étalon, suivant la distance à laquelle on se place et l'intensité du rayonnement. On trouve facilement, en s'éloignant ou en se rapprochant, la distance à laquelle on obtient l'équivalence de luminosité.

Un ruban métrique à ressort, dont la boîte est adaptée au fluoromètre, est lui-même fixé par un point voisin de son extrémité libre au pied qui supporte le fluoromètre au repos, de telle façon que le zéro de la division corresponde au centre de l'anticathode. Grâce à ce ruban qu'on immobilise avec le médius gauche, quand aura obtenu l'équivalence, on lit immédiatement la distance à laquelle on se trouve. Cette distance lue, c'est celle que nous appelons la distance d'équivalence ou simplement l'équivalence du tube. Elle varie, pour les tubes ordinaires fonctionnant sur les bobines avec interrupteurs mécaniques, de 60 à 200 centimètres suivant les cas.

C. — Choix de l'étalon de radium et de l'écran. — Un à trois centigrammes de bromure de radium, d'activité 500.000, conviennent à cet usage. Guilleminot se sert d'un échantillon de 2 centigrammes étalé sur une surface de 1 centimètre carré 75 recouvert d'un vernis spécial (Armet Delisle). Il le

place bien protégé par une doublure de plomb, à 2 centimètres en arrière d'un écran fluorescent constitué par des cristaux de platino-cyanure montés sur une feuille de bristol mincé dont le coefficient d'absorption pour les rayons X est à peu près négligeable. Si l'on dispose d'un échantillon moins puissant, on diminue l'épaisseur de la monture ou on réduit la distance. Si l'on dispose d'un échantillon plus puissant, on peut coller une ou deux feuilles de papier noir derrière l'écran, ce qui diminue notablement le rayonnement du radium, sans absorber, d'une façon appréciable, les rayons X incidents, ou mieux augmenter la distance. Le volet de plomb supportant le radium est à charnière. Après chaque mesure, on le renverse. A la fin de chaque journée de travail, on enlève, en outre, l'écran et on le place en pleine lumière jusqu'au prochain emploi. On lui fait faire une rotation d'un quart de tour, chaque fois qu'on le remet en position, ou chaque fois qu'on le juge utile. De cette façon, on évite tout effet Villard, et on prévoit toute modification qui pourrait se produire dans la plage-radium, et non dans la plage rayons X, les deux plages étant fréquemment interchangeables.

Il est bon d'ajouter qu'on ne doit étalonner une plage lumineuse qu'avec un sel de radium ayant un certain âge de préparation. On sait, en effet, que, durant une période de 1 à 3 mois, la formation des produits de désintégration de l'émanation donne lieu à une augmentation progressive du rayonne-

ment global, et un équilibre, d'ailleurs non absolu, s'établit seulement après ce laps de temps.

Cet équilibre, quoique non absolu, est largement suffisant pour les besoins de l'étalonnage d'une plage lumineuse. Ce dispositif étant ainsi établi, nous allons indiquer l'unité d'intensité choisie et sa valeur par rapport au rayonnement donnant la luminosité étalon.

D. — Choix de l'unité d'intensité de rayonnement et de l'unité de quantité. — L'intensité unité est le quadruple de l'intensité de rayonnement capable de donner à l'écran une fluorescence égale à celle de la plage étalon.

Voici sa définition chimique tirée de la réaction de Freund-Bordier et rattachée, comme l'unité I de Bordier, au système CGS.

C'est l'intensité de rayonnement (en n° 6) qui, agissant normalement sur la solution chloroformique à 2 o/o d'iodoforme de Freund-Bordier et suivant

Un centimètre carré de surface et 1 centimètre de profondeur libère

1 gramme $\times$ 10 — ^s d'iode

en un temps égal à une seconde.

Cette unité d'intensité est désignée par la **lettre gothique M.**

L'unité de quantité correspondante est la quantité de rayonnement donnée en une minute par l'unité **M** d'intensité.

Nous désignerons avec l'auteur cette quantité de

rayonnement par la **lettre romaine M**. Il faut environ 166 M pour faire une unité I de Bordier ; et 125 M pour faire 1 H de Holtzknecht en rayons n^{os} 5-6. Ce qui a surtout déterminé le Dr Guilleminot à choisir une unité plus petite que les unités proposées, c'est que, en radiographie, 1 M incident sur la plaque sensible est la dose de rayonnement nécessaire et suffisante pour obtenir un bon cliché d'une région de 1 centimètre d'épaisseur (doigt humain, membres d'animaux de 1 cm., etc.), et il faut d'une façon générale autant d'M qu'il y a de centimètres d'épaisseur à la région radiographiée.

Ces données évidemment sont grossières ; il faut tenir compte de la nature des régions. Une région, qui comme le bassin, renferme des tissus mous de densité moyenne voisine de 1,05 demandera naturellement plus de pose que le thorax à épaisseur égale.

Le Dr Guilleminot compte ordinairement 1 M par centimètre jusqu'à 8 centimètres, quelle que soit la région ; 1 M par centimètre au-dessus de 8 s'il s'agit du thorax ; il force un peu la dose au-dessus de 8 pour les autres régions, par exemple 11 M pour 10 centimètres, 15 M pour 12 centimètres, etc.

E. — Emploi de l'unité M en radiothérapie. — Il faut 400 M incidents environ de rayons n^o 5 pour obtenir la plus faible réaction cutanée.

Douze cents M incidents environ de près la dose maxima qu'on puisse employer par mois.

L'épilation du cuir chevelu se fait avec 500 M au total de n^o 5 en une ou deux séances.

Vingt mille M incidents donnés en séances espacées ou consécutives à des graines en période de vie latente suffisent en général pour produire un retard de germination.

La fluorométrie permet donc de pratiquer la quantitométrie du faisceau incident comme tous les autres procédés avec l'avantage d'une grande précision. Elle permet aussi de doser la quantité d'énergie radiante absorbée par les couches successives des tissus en interposant entre le tube et le fluoromètre ces couches d'épaisseur graduées.

Le Dr Guillemillot a ainsi pu construire les courbes de transmission des divers faisceaux X à travers tous les tissus de l'organisme, déterminer la formule géométrique de ces courbes et construire la courbe des taux d'absorption aux différentes profondeurs (dérivée de la courbe de transmission).

Il a, d'ailleurs, établi un compteur d'unités M qui totalise en fonction du temps, de la distance d'équivalence et de la distance opératoire, les quantités incidentes.

Nous verrons ultérieurement, à propos de la technique, l'appareillage qui a servi à Guillemillot.

Voici maintenant, à titre de documents, quelques résultats obtenus par notre maître en recherchant à l'aide de son procédé fluorométrique la quantité de rayons X absorbée et la quantité transmise par les couches successives de tissus.

Nous allons successivement passer en revue le foie, la rate, le poumon, le rein et le muscle.

10 FOIE

		N ^{os} 6 à 7	N ^o 5	N ^o 4
a) 1 cm. de foie laisse passer.		58 0/0	51 0/0	47 0/0
2	—	38 à 39 —	28 —	20 —
3	—	26 à 29 —	16 —	11 —
b) 1 cm. de foie absorbe.....		42 —	49 —	53 —
2	—	61 à 62 —	72 —	80 —
3	—	71 à 74 —	84 —	89 —

2° RATE

		N ^o 7	N ^{os} 6 à 7	N ^o 5	N ^{os} 4 à 5
1 ^{er} cm.	{ absorbés.	44 0/0	44 0/0	50 0/0	52 0/0
	{ transmis.	56 —	56 —	50 —	48 —
2 cm.	{ absorbés.	65 —	65 —	71 —	74 —
	{ transmis.	35 —	35 —	29 —	26 —
3 ^e cm.	{ absorbés.	76 —	77 —	82 —	85 —
	{ transmis.	24 —	23 —	18 —	15 —
		du N ^o 9	du N ^o 8	des N ^{os} 6 à 7	du N ^o 6

3° POUMON

(Rempli d'eau comme dans les conditions physiologiques)

		N ^o 7	N ^{os} 6 à 7	N ^{os} 5 à 6	N ^{os} 4 à 5
1 ^{er} cm.	{ absorbés.	17 0/0	17 0/0	22 0/0	23 0/0
	{ transmis.	83 —	83 —	78 —	77 —
2 ^e cm.	{ absorbés.	29 —	31 —	36 —	40 —
	{ transmis.	71 —	69 —	64 —	60 —
3 ^e cm.	{ absorbés.	37 —	43 —	47 —	52 —
	{ transmis.	63 —	57 —	53 —	48 —
		du N ^o 8	des N ^{os} 7 à 8	des N ^{os} 6 à 7	des N ^{os} 5 à 6

4° REIN

	N° 6	Nos 4 à 5
1 ^{er} cm. {		
absorbés	49 0/0	53 0/0
transmis	51 —	47 —
2 ^e cm. {		
absorbés	68 —	69 —
transmis	32 —	31 —
3 ^e cm. {		
absorbés	77 —	78 —
transmis	23 — du N° 7	22 — des Nos 6 à 7

5° MUSCLES

1 ^{er} centimètre {	absorbés.....	46 0/0
	transmis.....	54 —
2 ^e centimètre {	absorbés.....	72 —
	transmis.....	28 —
3 ^e centimètre {	absorbés.....	81 —
	transmis.....	19 —

Nous savons donc mesurer et apprécier par une unité commune de mesure (l'unité M) les doses incidentes et les doses absorbées ou doses efficaces. Nous pouvons dire lorsque nous traitons une tumeur derrière une certaine épaisseur de tissu cutané, graisseux, musculaire : chacune des couches interposées absorbe tant d'unités, l'effet nocif aura telle intensité prévue, et la tumeur, elle, absorbera tant d'unités et nous saurons si l'on pourra faire absorber une dose utile à l'organe malade, sans atteindre le seuil de l'action nocive pour les tissus interposés et pour la peau en particulier, dans les conditions où l'on se place.

Guilleminot, par l'expérimentation clinique et par des expériences sur les graines, que nous n'avons pas à rappeler ici, a été conduit à formuler la loi suivante dont l'importance pratique est considérable : *il n'y a aucune proportionnalité entre les doses incidentes et les effets biochimiques produits ; il y a une proportionnalité probable entre les doses absorbées (doses efficaces) et les effets biochimiques produits.*

Appelons $M\lambda$ l'unité de taux d'absorption et de dose efficace (1), l'expérience nous montre qu'avec 500 M incidents par exemple *de rayons non filtrés n° 5* les premières couches cutanées absorbent une dose efficace de 20 $M\lambda$ et que dans ces conditions on arrive au seuil de l'érythème. Pour donner cette même dose efficace de 28 $M\lambda$ *avec du n° 3 faible* il suffirait de 300 M incidents tandis qu'il faudrait 2.000 M incidents *de rayons de haute pénétration* tels que ceux qu'on obtient par filtrage préalable et avec un tube au maximum de dureté.

A supposer que les effets physiologiques d'un même nombre d'unités de doses efficaces de qualité différente soient les mêmes, on comprend ainsi les profondes différences d'effet des mêmes doses incidentes lorsqu'on emploie des rayonnements peu

1. C'est-à-dire l'unité d'absorption millimétrique, l'absorption étant dosée en M par millimètre, comme la vitesse d'un projectile est mesurée en mètres par seconde : l'unité de dose efficace $M\lambda$ est à l'unité de quantité M, ce que l'unité de vitesse (ou mètres par seconde) est à l'unité longueur.

pénétrants ou très pénétrants, filtrés ou non filtrés.

Ceci nous explique en partie pourquoi les tumeurs superficielles sont susceptibles d'être très modifiées par les rayons X alors que les tumeurs profondes le sont beaucoup moins, si l'on ne se met pas dans des conditions expérimentales très particulières. Il sera facile de faire absorber à la peau même avec des doses incidentes faibles des doses efficaces considérables si l'on emploie des rayons incidents de faible pénétration. Si, au contraire, on emploie des rayons très pénétrants, le pouvoir absorbant étant moins considérable, il sera nécessaire d'augmenter la quantité incidente. Ces rayons très pénétrants devront par contre être employés si l'on a en vue l'irradiation de tissus profonds et si l'on ne veut pas avoir d'effets nocifs sur les téguments interposés.

Avec les données que nous avons acquises jusqu'ici, un exemple fera mieux comprendre que de longues considérations la difficulté du problème qui nous est posé et la solution que comporte ce problème. Nous tirons cet exemple d'un travail de Guilleminot.

« Supposons une tumeur utérine située à 3 centimètres et présentant 15 centimètres d'épaisseur, demandons-nous ce que nous allons pouvoir lui faire absorber.

Prenons un tube placé assez loin, pour regarder comme négligeable la diminution de densité en fonction du carré de la distance, et demandons-nous ce que vont absorber la peau, la face antérieure de

la tumeur, le plan moyen, le plan postérieur, si nous employons des rayons n° 4, ou des rayons n° 8, ou des rayons n° 12 filtrés et que l'intensité du champ soit 20 M au niveau des téguments.

Notre rayonnement tombant sur la peau y produira en vingt minutes l'action de 3 h. $1/2$ (400 M). S'il s'agit de rayons n° 4, l'absorption moyenne des couches interposées peut être comptée à raison de 90 à 95 o/o (mesure fluoroscopique), il restera 20 à 40 M de rayons n° 7 et 8 et le premier centimètre de tumeur absorbera environ 40 o/o de ce rayonnement.

La relation à établir serait la relation du module qui permet de passer de l'absorption de 1 M fluoroscopique de telle qualité pour l'unité d'épaisseur de tel tissu à l'action biochimique produite, comme nous avons passé de l'effet fluoroscopique de 1 M incident à l'effet radiographique de cette même quantité.

Cette donnée intéresse la science, plus que la pratique, et si nous ne pouvons la déterminer actuellement, nous pouvons du moins solutionner le problème de l'absorption maxima par les tissus morbides avec l'absorption minima par les tissus interposés.

Considérons en effet, à présent, un rayonnement n° 8, il ne subira que 70 o/o environ d'absorption par les tissus interposés ; il restera 120 M disponibles. Il est vrai que le faisceau incident sera plus dur que tout à l'heure et marquera 10 environ, mais le pou-

voir d'absorption par la tumeur sera de 20 à 25 o/o par centimètre au lieu de 35 environ, et si l'on compare les produits 0, 20 $\times$ 120 et 0, 35 $\times$ 40 on voit déjà que le rayonnement n° 8 aura une action incomparablement supérieure.

A présent choisissons un rayonnement filtré. Prenons un rayonnement n° 9, filtrons-le par 3 millimètres d'aluminium, il devient du 11-12, et à ce moment il se comporte à peu près comme un faisceau monochromatique (des deux monochromatiques hypothétiques composants, l'un est réduit presque à 0), il subit une perte de 50 o/o dans les tissus interposés. Il restera 200 M disponibles, qui ne subiront guère, il est vrai, qu'une absorption de 15 o/o dans le premier centimètre de tumeur, mais 0, 15 $\times$ 200 est supérieur à 0, 20 $\times$ 120.

Si l'on fait le même calcul pour le plan médian, ou le plan postérieur, on voit plus nettement encore l'avantage des rayons durs.

On peut donc donner comme règles pour le traitement des tumeurs profondes :

1° Choisir un tube dur ;

2° Durcir encore les rayons par un filtre constitué par une substance radiochroïque et non, comme l'ont fait certains auteurs, par une substance ayant un minimum de radiochroïsme (argent), substance qui ne fait qu'affaiblir le rayonnement en pure perte ;

3° Suivre la technique des portes d'entrée différentes, c'est-à-dire varier les surfaces cutanées d'incidences ;

4° Eloigner le tube le plus possible pour que, de la peau au tissu morbide, il y ait le minimum de diminution de densité du flux, du fait de la loi du carré des distances.

Voyons maintenant quelles conditions techniques pourront nous permettre de réaliser dans la pratique ces desiderata.

CHAPITRE II

TECHNIQUE

Comment arriver à produire des rayons pénétrants.
Comment arriver à les produire en quantité suffisante pour traiter vite ?

Certaines conditions de technique relatives au tube et à la constance de son fonctionnement, relatives aux filtres, etc., sont indispensable à connaître. Ce sont elles que nous allons maintenant étudier.

I. — CONDITIONS TECHNIQUES RELATIVES AU TUBE.

Tout le monde sait actuellement ce que c'est que le tube de Crookes et quelles sont ses parties constituantes : une ampoule de verre munie de deux électrodes, l'une en aluminium reliée au pôle négatif de la source, l'autre reliée au pôle positif. Dans la plupart des modèles actuels il y a deux anodes, reliées extérieurement par un fil de connexion. L'une d'elles appelée anticathode inclinée à 45 degrés sur l'axe qui joint son centre à celui de la cathode est destinée à recevoir le faisceau de particules cathodiques venu de la cathode et à émettre des rayons X sous leur choc.

Dans ces conditions lorsque, comme c'est le cas le plus ordinaire, la cathode est concave, le faisceau cathodique prend l'aspect d'un pinceau conique le sommet du cône correspondant au centre de courbure.

Pour les usages radiographiques on a avantage à ce que le sommet du pinceau cathodique soit bien centré sur l'anticathode. Mais le faisceau cathodique doit être considéré comme le lieu de passage d'une infinité de projectiles allant depuis la cathode bombarder la surface anticathodique avec une vitesse égale à environ $1/10$ de celle de la lumière, c'est-à-dire voisine de 30.000 kilomètres à la seconde. La force vive de ces projectiles possédant une certaine masse et portant une charge électrique négative, est considérable en raison de leur vitesse. Cette force vive se transforme quand le faisceau rencontre une surface métallique qui l'arrête. L'énergie ainsi absorbée se retrouve non seulement sous l'aspect de rayon X, mais aussi de chaleur, et la production de chaleur peut être telle que l'anticathode faite pourtant de platine iridié peut arriver à la fusion. Une particule de diamant placée sur l'anticathode peut se transformer en graphite, ce qui suppose une température de 3.600 degrés au moins (Moissan).

Lorsqu'on fait de la radiothérapie, les séances peuvent être relativement prolongées, avec un courant électrique très intense, il y a donc lieu de se préoccuper de l'écueil signalé ci-dessus. L'aspect de l'anticathode dans les tubes qui ont servi un certain

nombre de fois en radiographie montre bien que l'inconvénient est réel. Le dépoli du platine dans des ampoules qui n'ont fonctionné à plusieurs reprises que quelques minutes chaque fois indique bien que pour des séances plus prolongées la lame anticathodique aurait pu aller jusqu'à la fusion.

Aussi peut-on modifier les conditions : on peut se servir de *tubes à anticathodes décentrées et à électrodes obliques*. Dans de tels tubes (qui seraient mauvais pour la radiographie et donneraient des épreuves floues) le foyer du faisceau cathodique tombe en arrière de l'anticathode qui coupe bien entendu le faisceau incident mais en dehors de son point focal. La plage anticathodique chauffera beaucoup moins dans ces conditions et le tube pourra fonctionner beaucoup plus longtemps sans danger pour ses parties constituantes.

Certains modèles de tubes présentent, dans le même but, une circulation d'eau froide en arrière de l'anticathode. Cela nous a paru être une complication inutile, si l'on prend les précautions que nous venons d'indiquer.

II. — CONDITIONS RELATIVES A LA CONSTANCE DU FONCTIONNEMENT

Lorsqu'on fait de la radiologie, on ne tarde pas à s'apercevoir que le fonctionnement d'un tube donné se modifie avec l'usage. Cela tient à plusieurs causes. La cathode laisse échapper des particules métal-

liques excessivement petites qui vont se fixer sur le verre de l'ampoule, lui donnant ainsi cette coloration noire violacée (métallisation du verre) si connue des radiologistes. Cette exode de particules, qu'on appelle l'évaporation ou pulvérisation cathodique, est faible avec l'aluminium, mais beaucoup plus forte avec les métaux à poids atomique élevé tels que le platine. On voit tout de suite que la métallisation du tube se produira beaucoup plus vite si le courant s'inverse puisqu'alors l'anticathode de platine jouera le rôle de cathode. Or, avec la bobine d'induction, il y a toujours lieu de craindre le passage de l'onde inverse.

C'est ce qui a conduit à mettre dans ce circuit secondaire, une soupape, sorte de tube à vide muni d'une grande électrode placée au milieu d'un grand espace vide et d'une petite électrode placée dans un espace restreint. Un pareil tube laisse passer le courant beaucoup plus facilement lorsque la grande électrode joue le rôle de cathode. Il arrête presque complètement le courant de sens opposé (Villard). C'est grâce aux soupapes que l'on a pu utiliser directement le courant des transformateurs à courants sinusoïdaux en arrêtant ou absorbant l'onde d'un sens, et en se servant de l'autre pour exciter les tubes de Roentgen.

Quoiqu'on fasse, la métallisation ne s'en produit pas moins à la longue et l'un de ses résultats est d'augmenter la résistance du tube parce que les particules de gaz restant dans le tube sont fixées par

les éléments métalliques des parois. Les inconvénients de ce phénomène sont loin d'être négligeables. En augmentant le degré de vide, on augmente du même coup la vitesse des projectiles cathodiques, ce qui diminue la longueur d'onde des Rayons X et augmente leur force de pénétration. Mais au delà d'un certain degré de vide le tube ne fonctionne plus, le courant ne traversant pas le vide absolu. Le durcissement du tube est donc un véritable écueil lorsqu'on a à se servir des tubes à vide pendant des séances prolongées. Comment y remédier?

Un certain nombre d'expérimentateurs se sont préoccupés de la question et parmi ceux-ci Villard a fourni aux spécialistes le dispositif le plus simple et le plus parfait qui soit en usage. Villard a utilisé la propriété qu'a le platine de se laisser traverser au rouge par l'hydrogène. Son « osmo-régulateur » consiste dans un petit tube de platine soudé à la paroi de l'ampoule. Lorsque le tube durcit on diminue son degré de vide en introduisant à son intérieur des molécules d'hydrogène. Ce résultat s'obtient en chauffant le tube de platine avec une flamme riche en hydrogène tel que la flamme du gaz d'éclairage ou de la lampe à alcool.

Nous avons donc dans l'osmo-régulateur de Villard un moyen de réglage précieux qui nous permettra de maintenir un tube au degré de dureté voulu.

Les autres moyens de maintenir ou plutôt de contrôler le tube dans un état de fonctionnement cons-

tant nous sont fournis par les appareils de mesures électriques.

Ces mesures électriques ne peuvent nous donner aucune notion absolue sur l'intensité du rayonnement car cette intensité dépend avant tout du tube lui-même, de son degré de vide, de son mode d'excitation, etc.

« Mais cette réserve faite, — ici nous empruntons encore à notre maître quelques lignes d'un de ses ouvrages, — on peut dire que pour une installation donnée, fonctionnant dans des conditions déterminées, les mesures électriques nous offrent le moyen le plus sûr, on peut presque dire le seul, d'assurer la constance de ce fonctionnement et la constance du rayonnement produit.

Supposons un générateur de Rayons X composé d'une bobine munie d'un interrupteur mécanique avec, dans le circuit secondaire de cette bobine, une soupape à osmo-régulateur, un milliampèremètre, un tube à osmo-régulateur, muni d'un voltmètre électrostatique à ses bornes. Supposons encore que notre voltmètre marque 20.000 volts, notre milliampèremètre 1 mA. 5, lorsque nous sommes arrivés à la qualité et à l'intensité du rayonnement que nous désirons employer.

Dans ces conditions, l'expérience le montre, tant que l'aiguille de ces deux appareils marquera le même chiffre, le rayonnement restera le même. Dans une installation bien agencée, un aide a sous les yeux tous les appareils de mesures électriques, et sous la

main tous les appareils de réglage : rhéostat du primaire, trembleur s'il est réglable, chalumeaux à veilleuse pour les osmos commandés à distance.

Voit-il le milliampèremètre baisser, cela signifie que le courant diminue : il diminue soit parce que le courant primaire diminue (échauffement du rhéostat, fonctionnement de l'interrupteur, etc.), soit parce que la soupape durcit, soit parce que le tube durcit.

Il saura tout de suite quelle en est la cause en consultant le voltmètre électrostatique : si le voltmètre marque une division plus élevée, c'est qu'il y a durcissement du tube : immédiatement il ouvre le chalumeau de l'osmo du tube qu'il chauffe jusqu'à ce que l'aiguille du voltmètre soit revenue à sa position primitive. Il s'assure alors que le milliampèremètre lui aussi marque la division convenue. S'il est en dessous, un coup d'œil jeté à la soupape lui fait voir par sa couleur si elle a durci : il la règle par l'osmo ; dans le cas contraire c'est que le courant primaire a fléchi, et il agit sur le rhéostat ou sur l'interrupteur. Il y a dans l'accord des différents appareils une question d'habileté de la part de l'aide qui peut acquérir un doigté d'une précision remarquable, quel que soit le générateur. Le bruit du tube, le bruit de l'interrupteur, le bruit de la soupape, quelques légers crépitements au secondaire, un changement de teinte de la soupape constitueront pour lui autant de signes précurseurs d'un changement qui va tendre à se produire dans le

milliampéremètre et le voltmètre, et avant qu'il se produise il sait y parer.

Donc avec de l'habitude et un appareillage de mesures électriques très simples, on peut maintenir constant l'état d'un tube.

La constance de fonctionnement du tube : voilà ce qu'il faut demander aux mesures électriques ; et c'est tout ce qu'on doit leur demander.

Avant que nous possédions le voltmètre électrostatique dérivé sur les électrodes du tube et du milliampéremètre mis en circuit, nous disposions cependant d'autres indicateurs : le spintermètre, dérivé comme le voltmètre aux électrodes du tube, mesure l'étincelle qui tend à éclater dans l'air entre ces électrodes, et qui équivaut d'une certaine façon au degré de vide intérieur. M. Béclère a fait voir tout le parti qu'on pouvait tirer du spintermètre en radiographie et en radiothérapie. Le voltmètre ordinaire, dérivé aux bornes du primaire de la bobine, supplée dans une certaine mesure au manque d'appareils de mesures sur le circuit secondaire.

On sait, en effet, que dans tous les transformateurs, le courant secondaire réagit sur le circuit primaire, si bien que le voltmètre du primaire, comme l'a montré Bergonié, donne une idée de la résistance du tube, ou plus généralement de la résistance des appareils traversés par le courant secondaire, tube et soupape en particulier.

A ce point de vue l'ampéremètre du primaire peut aussi donner des indications utiles.

On conçoit que toutes ces mesures sont encore plus impuissantes que les premières à nous donner l'intensité du faisceau émis, mais, quoique moins précises qu'elles, elles nous permettaient autrefois d'assurer à peu près la constance du fonctionnement.

Terminons par une remarque qui pourra être utile à ceux qui ne sont pas très familiarisés avec l'emploi du milliampèremètre au secondaire : quand on a commencé à employer cet appareil, on a dit : « il mesure la quantité de rayons X donnés par un tube », et on a eu raison, car, pour une qualité donnée de rayons, l'intensité du rayonnement est une fonction de l'intensité du courant. Puis on a dit aussi : « Il définit la qualité du rayonnement produit », et on a eu raison, car plus un tube est mou, c'est-à-dire moins le rayonnement qu'il donne est pénétrant, plus il y passe de courant. Ce qu'il faut dire, c'est qu'à voltage égal ou à qualité égale des rayons émis, le milliampèremètre est un quantitomètre ; et à courant générateur égal il se comporte avant tout comme un qualitomètre.

III. — CONDITIONS RELATIVES AUX FILTRES

Nous avons déjà envisagé incidemment la question des filtres et nous savons comment se pose le problème : Il est des rayons mous qui ne pénètrent pas très loin dans la profondeur et peuvent être très nocifs pour les téguments. Lorsqu'on traite une

tumeur recouverte par des tissus sains, il y a donc avantage à se débarrasser de ces rayons qui ne peuvent être que nuisibles.

Tous les auteurs qui s'occupent de radiothérapie se sont préoccupés de cette question et certains ont proposé de se servir pour irradier les tissus ou les organes situés à une certaine profondeur d'interposer entre l'ampoule et la région à irradier des lames plus ou moins épaisses de substances susceptibles d'arrêter les rayons inutiles ou nuisibles.

Nous ne croyons pas que le problème délicat des filtres ait été jamais abordé d'une façon aussi précise et aussi scientifique qu'elle ne l'est dans les travaux de notre maître M. Guillemillot. Nous ne pouvons malheureusement aborder la question dans toute son ampleur et dans tous ses détails. Il y a dans les publications du Dr Guillemillot des données mathématiques notamment qui nous paraissent à nous-même trop techniques pour prendre place dans ce modeste travail. Nous nous contentons donc de dégager de nombreuses notes dont on trouvera l'indication à l'index bibliographique les conclusions qu'il faut connaître.

En présence d'une tumeur profonde que nous nous proposons de traiter sans blesser les tissus sains interposés, trois questions de technique sont à discuter.

1° *Quel degré de dureté devons-nous donner au tube de Crookes ?*

2° *Quelle épaisseur devons-nous donner au filtre que nous interposerons entre la tumeur et la peau ?*

3° *Quelle quantité de rayonnement devons-nous employer ?*

La solution de ces questions ne peut être obtenue d'une façon précise que si nous savons déterminer le changement apporté au spectre de chaque faisceau par les filtres d'épaisseur croissante :

Guilleminot a par de longs travaux déterminé des courbes dans lesquelles les épaisseurs d'aluminium sont portées en abscisses et les intensités transmises en ordonnées.

La lecture de ces courbes fournit au radiothérapeute les données les plus précieuses. Ces courbes permettent, grâce aux échelles annexées, de lire le taux d'absorption rapporté soit à chaque tissu pris en particulier, soit au tissu plasmique moyen de densité 1,04 environ. Du reste, quand on considère les tissus mous de l'organisme, les graisses mises à part, il y a peu d'écart entre les coefficients d'absorption et les degrés de radiochroïsme de chacun d'eux ; et les écarts sont, dans beaucoup de cas, de l'ordre de grandeur des erreurs de mesure. C'est en se rapportant à ce tissu moyen de densité 1,04 que Guilleminot a établi quelques chiffres.

Une dose de 20 M λ à 25 M λ paraît être la dose efficace au-dessus de laquelle on atteint le seuil de la première réaction cutanée. Elle correspond pour un rayonnement 0,575 (n° 5 à 6 Benoist) à 400 M incidents environ (un peu plus de 3 H).

Toutes les fois qu'on veut traiter un organe profond ou une tumeur profonde sans léser les tégu-

ments il faut donc, sans dépasser cette dose efficace de 20 à 25 $M\lambda$ pour les premières couches cutanées, atteindre le maximum de dose efficace pour le tissu visé.

A dose efficace initiale égale (et voisine de 20 à 25 $M\lambda$) quelle sera donc la dose efficace disponible à la profondeur considérée suivant le rayonnement et suivant le filtre employé ?

Les courbes publiées par le Dr Guillemillot montrent que les doses efficaces à une profondeur quelconque sont d'autant plus élevées que le rayonnement est plus dur.

L'étude que notre maître a faite, d'autre part, des faisceaux de coefficient d'hétérogénéité différente lui ont montré que plus un faisceau est pur, plus il tend à faire absorber une dose efficace élevée aux couches profondes pour une même dose efficace initiale. Autrement dit, plus homogène est le faisceau qu'on emploie, plus grande pourra être la dose absorbée par les tissus profonds sans risques de lésions pour les premières couches traversées.

Il faudra donc, pour agir sur des tumeurs profondes, des rayons très pénétrants et très filtrés.

« Cela posé, pour en venir à des déductions pratiques, dit Guillemillot, voici comment il faut envisager le problème général des filtres : on fixera arbitrairement le nombre de $M\lambda$ que l'on croit devoir faire absorber aux éléments néoplasiques pour produire une action thérapeutique. En prenant provisoirement par exemple la dose efficace de 12 $M\lambda$ comme la dose

nécessaire et en considérant celle de 20 Mλ comme la limite à laquelle on pourra soumettre les premières couches traversées, on cherchera à quelles conditions on pourra faire absorber 12 Mλ aux tissus situés à des profondeurs de plus en plus grandes tout en prenant la dose efficace initiale de Mλ comme une constante. »

Et voici d'après ces données les résultats pratiques auxquels est arrivé M. le Dr Guilleminot :

1° Dans tous les cas, dès lors qu'il y a une couche de tissu sain à ménager, il y a intérêt à employer des rayons très pénétrants et très filtrés ; plus ils sont pénétrants et homogènes, plus la dose efficace absorbée par les couches profondes est élevée par rapport à la dose efficace initiale ;

2° Quand il s'agit des éléments peu profonds, situés à quelques millimètres seulement, il y a intérêt à employer un rayonnement n° 0,600 à 0,650 (maximum de rendement en rayons X) et à le filtrer par un filtre de 0 mm. 3 à 0 mm. 5 ; en effet ce qu'on gagnerait en dose efficace à cette profondeur par l'emploi d'un filtre plus épais serait peu important relativement à l'énorme perte d'énergie causée par ce filtre. Et cette conclusion vraie, s'il s'agit d'une dose efficace désirable de 12 Mλ, reste vraie si l'on est conduit par les statistiques à en admettre une supérieure ou inférieure ;

3° Quand il s'agit de traiter des éléments situés à 1 centimètre, 2 centimètres de profondeur, employer

le 0,650 ou 0,675 avec filtre 1, 2 ou mieux 3 millimètres d'épaisseur ;

4° Quand enfin il s'agit de traiter des tumeurs profondes employer le 0,675 avec filtre de 5 millimètres, tout en sachant qu'avec une seule porte d'entrée on est en-dessous de la dose efficace vraisemblablement nécessaire.

D'ailleurs ces règles n'ont rien de fixe. Quand on dispose de plusieurs portes d'entrée, on peut abaisser l'épaisseur du filtre ; on abaissera du même coup la dose efficace profonde par rapport à la dose efficace initiale de 20 Mλ, mais on abaissera dans des proportions bien plus considérables l'énergie incidente employée, et il est facile en se reportant au deuxième tableau (1) de voir si la somme de doses incidentes employées à 2, 3, 4 portes d'entrée donne sur la tumeur, avec un filtre plus faible une dose efficace totale supérieure, inférieure ou égale à celle que donnerait avec une seule porte d'entrée un rayonnement du maximum de dureté avec le maximum de filtre.

Au surplus, il faut bien reconnaître qu'en pratique la question est assez délicate. Il y a dans la recherche de la pureté et de la dureté du rayonnement, deux gros écueils :

le premier est relatif aux filtres : un filtre qui épure beaucoup un faisceau, absorbe beaucoup de

1. Voir Comptes rendus de la Société de Radiologie médicale de Paris, juin 1909. Guillemainot, *Choix des Filtres en Radiologie* (3^e note).

son énergie : ainsi un filtre d'aluminium de 8 millimètres qui donne au faisceau émergent à peu près l'allure d'un faisceau monochromatique, dont le coefficient de pénétration est celui des composantes supérieures du faisceau incident, absorbe de 80 à 85 o/o de la quantité incidente, pour des rayons n^{os} 7 à 8 de Benoist ;

le deuxième est relatif au tube : quand on augmente la dureté du tube au delà du 8-9 de Benoist, son rendement diminue, son fonctionnement devient moins régulier, toutes les pièces métalliques qui l'entourent deviennent des armatures de condensateurs avec leurs risques pour le tube, et leur désagrément pour le sujet.

Ces considérations ont amené notre maître, le Dr Guillemillot, à poser les deux desiderata suivants :

1^o **Un filtre doit être le plus radiochroïque possible.** Entre plusieurs filtres réduisant le rayonnement à une même fraction de l'intensité globale initiale, 20 o/o par exemple, celui-là sera le meilleur qui transmettra un faisceau plus épuré, plus débarrassé de la partie molle de son spectre, plus homogénéisé vers la région la plus élevée de ce spectre. C'est la caractéristique de sa valeur filtrante.

2^o **Un filtre doit être, autant que possible, constitué par une substance non conductrice de l'électricité, dans l'intérêt du tube et du sujet.**

Le premier de ces desiderata est rempli par les filtres en aluminium qui sont le plus couramment employés. La filtration des rayons X dans la radio-

thérapie profonde, par des lames d'argent, proposée par FLEIG ET FRENKEL (1) est passible de gros reproches, l'argent étant aradiochroïque.

Le second (choix d'une substance non conductrice de l'électricité) a son importance, et c'est pourquoi le D^r Guilleminot a songé au verre dont le pouvoir filtrant se rapproche sensiblement de celui de l'aluminium. En comparant des filtres de verre à un filtre-étalon d'aluminium de pouvoir filtrant connu, Guilleminot a pu étudier, à l'aide du fluoromètre et d'un dispositif expérimental spécial, des filtres de verre. Les résultats auxquels il est arrivé lui permettent d'espérer que ce nouveau procédé de filtrage pourra apporter une contribution aux progrès déjà réalisés, dans la radiothérapie des organes profonds (2).

1. Voir *Archives d'Électricité médicale*, 10 avril 1909.

2. Les verres tels que le cristal, le flint-glass et surtout le strass, qui renferment une quantité très notable d'oxyde de plomb, doivent être rejetés. Les verres de Bohême, composés de silicate de potasse et de chaux, constituent des filtres excellents. Des écarts, même assez importants, de composition ne modifient pas, d'une façon appréciable, le pouvoir filtrant, de sorte qu'on ne se trouve pas, dans leur emploi, comme le craignait M. Belôt, « tributaire du fabricant de la coulée du verre ».

IV. — CONDITIONS RELATIVES A LA PROTECTION
ET A L'APPAREILLAGE ACCESSOIRE
POUR PERMETTRE D'ABORDER
LA RÉGION SOUS TOUTES LES INCIDENCES

La technique accessoire de la radiothérapie prend de plus en plus une importance considérable. Nous devons avoir des tubes volumineux et à grand débit ; le rayonnement intense qu'ils débitent dans toute la région antérieure au plan de l'anticathode doit être soigneusement arrêté partout où il n'est pas employé ; la nécessité de choisir des portes d'entrée multiples entraîne celle de posséder des supports robustes, mobilisables en tous sens, de manière à pouvoir aborder le malade sous toutes les incidences, et diriger vers lui le lourd matériel protecteur ; le plus souvent il y a intérêt à comprimer la région, il faut pouvoir adapter devant le tube un ballon de caoutchouc prenant appui en haut contre le filtre et en bas contre les tissus.

Les constructeurs se sont ingéniés à perfectionner l'appareillage en ce sens. Je me bornerai ici à décrire l'appareillage établi par Guillemainot parce que je me suis rendu compte en le manipulant des besoins auxquels il répond.

1° *Installation du malade.* — Le malade est placé dans la position qui lui est la plus commode ; debout, assis, couché, peu importe ; il faut partir de ce prin-

cipe que ce n'est pas le sujet qui doit par des positions difficile résoudre les difficultés des applications, mais c'est l'appareillage qui doit s'adapter à tous les besoins. En-dessous du support de tube on peut mettre à volonté un lit, un fauteuil, une chaise, une table à position gynécologique, etc. Quand le sujet est commodément installé on amène sur lui l'appareil dans la position et la direction voulues.

2° *Support du tube et du protecteur.* — Un châssis rectangulaire horizontal de 2 mètres de long sur 1 mètre de large est fixé au mur à 2 m. 50 de hauteur environ. D'un bout à l'autre de ce châssis coulisse un petit cadre rectangulaire de 30 centimètres de large. Dans ce cadre coulisse transversalement un second cadre qui porte les appareils. Ce dispositif permet, à l'aide de cordons de tirage, de faire voyager les appareils longitudinalement et transversalement et en particulier de la tête au pied du lit et de droite à gauche quand le malade est couché.

Ces deux mouvements de translation sont complétés par un mouvement d'élévation. Le petit cadre porte un châssis vertical creux en bois. Dans ce châssis servant de guide coulisse de haut en bas une pièce de bois ajourée donnant 1 m. 75 de course. Quatre tubes d'acier verticaux fixés sur le châssis supportent un chapiteau porte-poulies. Ces poulies reçoivent des courroies fixées à la pièce de bois verticale et portent à leur autre extrémité des contrepoids voyageant de haut en bas dans les tubes d'acier.

A l'extrémité inférieure de la pièce de bois sont fixés les appareils de la façon suivante.

Un solide système à la Cardan permet de placer le porte-protecteur dans tous les méridiens et de lui donner une inclinaison et une orientation quelconque dans chacun de ces méridiens.

Ce système à la Cardan est relativement de petit volume et c'est la seule pièce métallique du système placée au voisinage du tube.

Une couronne de bois montée sur deux pivots emboîte le protecteur. Ces pivots sont portés par un arc en bois fixé au système à la Cardan.

3° *Protecteur*. — Le protecteur est un globe de verre (fabrication Deau) qui enveloppe le tube de toutes parts sauf au niveau de la région où le rayonnement sera utilisé. Une fenêtre pratiquée dans le globe, permet d'explorer le tube en cours de marche. Une rainure spéciale permet de fixer les filtres, le compresseur, ou les localiseurs appropriés à chaque région.

4° *Localisateurs*. — Les localisateurs simples sont composés de tubes de verre au plomb, ou de disques limitant le champ d'irradiation. Nous nous sommes servi en outre de localiseurs faits extemporairement et adaptés à chaque cas particulier, localisateurs pour les cavités, spéculum de bouche appropriés à la position de la lésion, rectoscope muni d'une fenêtre en mica qui permet la pénétration des rayons et en même temps la distension du rectum par de l'air insufflé dans l'appareil, spéculum de formes

variées pour les applications sur la paroi vagino-rectale ou vagino-vésicale, etc. Suivant les cas, le localiseur est fixé à l'appareil protecteur, ou bien l'appareil protecteur est seulement amené en regard de la région munie de son spéculum bien adapté au patient.

CONDITIONS RELATIVES AU DOSAGE. QUALITOMÉTRIE.
QUANTITOMÉTRIE

Nous avons vu que pour agir sur les tumeurs profondes, nous devons employer des rayons durs, et nous avons vu, aussi, quels étaient les moyens pratiques de faire absorber aux tissus pathologiques, une quantité suffisante de rayonnements.

Voici le manuel opératoire très simple que nous employons pour arriver à déterminer, avec précision, les deux facteurs indispensables à connaître pour ces applications : qualité et quantité du rayonnement.

Nous employons soit le fluoromètre à vision bino-culaire que nous avons décrit en étudiant le principe de la radiométrie fluoroscopique, soit un petit modèle de fluoromètre monoculaire que je vais décrire :

C'est une petite lunette de 12 centimètres de longueur munie d'une lentille oculaire de + 15 dioptries ; l'écran de platinocyanure est au fond de la lunette. Un volet métallique amène derrière lui l'étalon de radium. La plage irradiée par les rayons X

est à la volonté obturée par un filtre d'aluminium de 1 ou 2 millimètres. Il se manie comme le premier appareil avec un ruban métrique. Voici comment avec le fluoromètre on détermine rapidement la qualité et la quantité du rayonnement.

1° *Qualité*. — On mesure l'équivalence à vide (c'est-à-dire sans obturer l'orifice de l'appareil). On mesure ensuite l'équivalence en obturant l'orifice par le filtre d'aluminium. Il suffit alors de se reporter à une règle à calculs spéciale, établie par Guilleminot pour déterminer la qualité du rayonnement. Cette règle est construite sur le principe des règles à calculs et comporte une règle et une réglette à coulisse. On amène, en regard l'un de l'autre, le chiffre de la règle correspondant à l'équivalence du tube à vide et le chiffre de la réglette correspondant à l'équivalence du tube derrière le fil du fluoromètre. On lit, en regard d'une flèche portée par la réglette, la fraction transmise par le filtre, ou le numéro radiochromométrique. On peut se servir concurremment du radiochromomètre de Benoist dont tout le monde connaît l'usage.

2° *Quantité*. — Ayant le chiffre de l'équivalence à vide et la distance où l'on met le malade, il suffit de se reporter à une autre règle à calculs établie spécialement pour déterminer la quantité. Cette règle se manie comme la première : on amène en regard l'un de l'autre le chiffre de la règle correspondant à l'équivalence du tube et le chiffre de la réglette correspondant à la distance du malade. On lit, en regard

d'une flèche portée par la réglette, l'intensité du rayonnement, ou sa quantité en unités M par minute. Il suffit de retourner la règle pour voir, en regard d'une autre flèche, le temps nécessaire pour faire 100 M.

Exemple : Supposons qu'il faille se placer à 180 centimètres du tube pour avoir l'équivalence des deux plages et qu'on traite le malade à 17 centimètres. On amène le chiffre 17 de la réglette en regard du chiffre 180 de la règle. On lit 28 M par minute en regard de la flèche, et au revers on voit 3 minutes et demie.

Nous avons dit que l'on peut aussi employer un totaliseur d'unités M en fonction du temps. Il suffit alors de placer une manette au plot portant le chiffre centimétrique d'équivalence. Une autre manette est placée au plot indiquant la distance opératoire. Un galvanomètre donne l'intensité du rayonnement en unités M à cette distance, et un compteur intègre le nombre d'unités M de quantité en fonction du temps. Ce compteur remplace donc automatiquement la règle à calculs et la montre.

Arrivé au terme de cette étude nous aurions voulu apporter les résultats obtenus au lit du malade par les nouvelles méthodes de traitement. Nous nous sommes excusé dès le début de devoir renoncer à cette partie clinique, qui fera l'objet d'un travail ultérieur. Mais nous sommes reconnaissant à notre maître de nous avoir montré les résultats heureux qu'il avait pu obtenir par l'emploi rigoureusement et

scientifiquement défini des rayons X dans le traitement des tumeurs profondes. Nous avons l'impression que nous touchons, pour nous servir encore d'une expression du Dr Guillemainot « à un domaine encore inexploré, où chaque pas est une surprise, et où chaque surprise prépare une découverte », nous n'avons pu signaler que quelques-uns des résultats acquis. « A côté de ceux-là il y en a d'autres qui attendent les chercheurs, comme il y a, devant l'explorateur, des sites inconnus que ne révèlent pas d'avance les cartes où l'espace vague est en blanc ».

CONCLUSIONS

1° Les rayons X qui ont été employés avec succès dans le traitement des néoplasmes superficiels sont susceptibles de donner des résultats également favorables dans la thérapeutique des affections profondes.

2° Mais la radiothérapie des tumeurs profondes s'est heurtée jusqu'ici à certaines difficultés : action nocive pour les tissus de certains rayons, choix et dosage du rayonnement, etc.

3° Le Dr Guilleminot, grâce à une méthode d'étude nouvelle (dosage fluorométrique) et à une unité de mesure bien définie (l'unité M) est arrivé à connaître et à indiquer les quantités de rayons absorbées et transmises par les tissus soumis à l'action des rayons X.

4° L'étude des données fournies par ces expériences conduit à voir qu'il est nécessaire pour faire absorber aux organes profonds une quantité utile de rayonnement d'employer des rayons très durs et très pénétrants.

5° Ces rayons très pénétrants sont obtenus dans la pratique en choisissant un tube dur et en durcis-

sant encore les rayons par un *filtre constitué par une substance radiochroïque* (aluminium ou verre). Ce filtre au surplus est indispensable pour éviter les accidents de radiodermite.

6° Des dispositifs spéciaux : — α) tubes à anticathodes décentrées, à électrodes obliques ; β) osmomètre comme moyen de réglage ; milliampère-mètre dans le circuit secondaire ; γ) appareils protecteurs, support des tubes — permettent d'obtenir les résultats cherchés.

7° La qualitométrie (radiochromomètre de Benoist), la quantitométrie (dosage fluoroscopique de Guilleminot) indiqueront au radiothérapeute pour chaque cas particulier les rayons à employer et les chances de faire absorber au tissu à irradier une quantité utile de rayonnement.

Vu : le Président de la thèse,

GARIEL

Vu : le Doyen

LANDOUZY

Vu et permis d'imprimer

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris

L. LIARD

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

Aubertin et Beaujeard. — Travaux sur l'action des rayons X sur le sang et dans la leucémie. Soc. Biol., 1904, t. LVI, p. 982 ; id., 1905, t. LVIII, p. 177 et 217 ; id., 1908, t. LXIV, p. 410 et Arch. élect. méd., 10 mai 1908, p. 343.

Association Française pour l'Avancement des Sciences. — C. R. des congrès. Abrév. : AFAS.

Bordier et Galimard. — L'unité I nouvelle unité de quantité de rayons X. Abrév. : AFAS. Lyon, 1906.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences (Gauthier-Villars, Paris). Abrév. C. R. Ac. Sc.

Delherm et Laquerrière. — La Radiothérapie appliquée au cancer. Arch. gén. de Méd., 16 févr. 1904, p. 400.

Fleig et Frenkel — Arch. d'Elect. méd., 10 avril 1909.

Guilleminot (H.). — Traité d'Electricité médicale. Steinheil, Paris, 2^e édition, 1908. Dosage des rayons X en unités. M. Abrév. : AFAS, 1907, 1908 ; C. R. Ac. Sc., 28 octobre 1907, 11 novembre 1907 ; Soc. Biol. t. LXIV, p. 186, 213, 389 ; Soc. Electroth., 1908 ; Soc. Radiol. Paris, 1909 ; Rapport au Congrès internat. d'Electrologie. Amsterdam, 1908 ; Arch. d'Electr. méd., 10 janvier 1909 ; Rayons X et radiations diverses, Actions sur l'organisme. Octave Doin, 1910. Revue générale des Sciences, 30 août 1908, Action des Radiations nouvelles sur les Plantes. Soc. Biol., 1908 ; Journal de Phys. et Path. génér. Bouchard, janvier 1908.

Petit (P.). — Rayonnement ultra-pénétrant du radium

- (Applic. au traitement des cancers de la peau et des muqueuses). Thèse de doctorat. Paris, 1908.
- Pujo* (Charles). — Des Tumeurs primitives des os. Thèse de Montpellier, 1870. — Rapport au Congrès international de Médecine de Madrid, 1903, p. 25. — Rapport au Congrès de Médecine de Paris, 1904, p. 447.
- Watterer*. — La Radiothérapie des néoplasmes sous-cutanés. Rapport au Congrès international de Physiothérapie du 26 mars au 3 avril 1910.
- Villard*. — Instruments de mesure à lecture directe pour les rayons X. Archives d'Electricité médicale, janvier 1908, p. 236 et 10 septembre 1908, p. 692 et 25 mars 1908. — Les Rayons cathodiques. Collection Scientia, n° 10, Gauthier-Villars.
- Wiechert* (E.). — Vitesse des Rayons cathodiques. Wied. An., t. LXIX, p. 1739.
- Zimmern*. — De l'Action des rayons X et des rayons du radium en neuropathologie. Société de Thérapeutique, 1904.
-

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Avant-propos.....	7
Introduction.....	9
CHAPITRE I. — Les Rayons qu'il faut employer.....	23
CHAPITRE II. — Technique.....	51
Conclusions.....	75
Index bibliographique.....	77
